

(19)  **Europäisches Patentamt**
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 154 033 A2

AG

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
14.11.2001 Patentblatt 2001/46

(51) Int Cl.7: **C23C 4/12**(21) Anmeldenummer: **01111327.1**(22) Anmeldetag: **09.05.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Fischer, Manfred**
71263 Weil der Stadt (DE)
- **Henne, Rudolf**
71034 Böblingen (DE)
- **Stephan, Karl**
70619 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **09.05.2000 DE 10022326**

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und**
Raumfahrt e.V.
53175 Bonn (DE)

(74) Vertreter: **Grimm, Ekkehard, Dipl.-Phys.**
Patentanwälte
Grimm & Staudt
Edith-Stein-Strasse 22
63075 Offenbach (DE)

(72) Erfinder:
 • **Thaler, Heiko**
71067 Sindelfingen (DE)

(54) **Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport sowie Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport mit einem Basiskörper und mit einer einen Stoff- und Wärmetransport unterstützenden Schicht auf mindestens einer Bauteilfläche, das dadurch gekennzeichnet ist, daß die Beschichtung durch ein Vakuumplasmaspritzverfahren erzeugt ist, wobei

Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlossenen Poren eingestellt ist. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport.

EP 1 154 033 A2

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Bauteile zum Stoff- und Wärmetransport mit einem Basiskörper und mit einer einen Stoff- und Wärmetransport unterstützenden Schicht auf mindestens einer Bauteilfläche.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport unter Bereitstellung eines Basiskörpers, wobei auf den Basiskörper eine einen Stoff- und Wärmetransport unterstützende Schicht aufgebracht wird.

[0003] Anordnungen zum Transport von Flüssigkeiten, unter Ausnutzung von Kapillarkräften, sind allgemein bekannt. Solche Kapillarstrukturschichten können mit unterschiedlichen Verfahren aufgebaut werden, beispielsweise durch bekannte Sintertechniken oder durch Plasmaspritzen von Pulverpartikeln.

[0004] Ein Wärmerohr, und ein Verfahren zu dessen Herstellung, zum Transport von Wärme von einem Verdampfungsbereich zu einem Kondensationsbereich, mit einer Kapillarstruktur innerhalb des Wärmerohrs, ist aus der DE-A1 197 17 235 bekannt. Die dort beschriebene Kapillarstruktur wird durch ein thermisches Plasmaspritzen von Pulverpartikeln hergestellt und besitzt eine offenporige Kapillarstrukturschicht. Hierzu werden Pulverpartikel mit einer mittleren Partikelgröße im Bereich von ungefähr 30 µm bis ungefähr 300 µm eingesetzt.

[0005] Grundsätzlich ist eine Anordnung, wie sie aus der DE-A1 197 17 235 bekannt ist, für Wärmerohre gut geeignet, insbesondere hinsichtlich deren Porosität, wie sie durch das dort verwendete Plasmaspritzen von Pulverpartikeln erzeugt wird. Um ein Wärmerohr mit Innenbeschichtung aufzubauen, ist in der DE-A1 197 17 235 auch vorgeschlagen, zwei Halbschalen auf der Innenseite mit einer Kapillarschicht zu versehen. Anschließend werden die beiden Halbschalen bzw. die zwei Zylinderhälften mit ihren Kanten flächig gefügt, so daß sich ein auf der Innenseite beschichtetes Rohr ergibt.

[0006] Ausgehend von dem vorstehend beschriebenen Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum Transport von Flüssigkeiten unter Ausnutzung von Kapillarkräften der eingangs angegebenen Art so weiterzubilden, daß ein Stoff- und Wärmetransport mit einer höheren Transportleistung damit erfolgen kann, sowie ein entsprechendes Verfahren zum Aufbauen einer entsprechenden Kapillarstrukturschicht für eine derartige Anordnung anzugeben.

[0007] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport mit einem Basiskörper und mit einer einen Stoff- und Wärmetransport unterstützenden Schicht auf mindestens einer Bauteilfläche, das dadurch gekennzeichnet ist, daß die Beschichtung durch ein Vakuumplasmaspritzverfahren erzeugt ist, wobei Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlos-

senen Poren eingestellt ist.

[0008] Verfahrensgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Beschichtung durch ein Vakuumplasmaspritzverfahren erzeugt wird, wobei die Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlossenen Poren eingestellt ist.

[0009] In einer Ausführungsform der Erfindung wird demzufolge durch den Anschmelzgrad der einzelnen Pulverpartikel die Porosität eingestellt. Je nach Anforderung an die Schicht und insbesondere hinsichtlich des Einsatzgebietes wird ein geeigneter Anteil an offenen und geschlossenen Poren gebildet.

[0010] Insbesondere mit einem Vakuumplasmaspritzverfahren, um die Pulverpartikel auf den Basiskörper aufzubringen, kann durch Änderung verschiedener Verfahrensparameter die Porenstruktur beeinflusst werden. Hier ist zum einen die Partikelgrößenverteilung der eingesetzten Pulverfraktionen zu nennen. Durch definiertes Beimischen von Pulverpartikeln mit geringem Durchmesser, verglichen mit dem Pulveranteil mit maximalem Durchmesser, können mehr Poren geschlossen werden, da gerade solche feinen Pulverpartikel stärker im Oberflächenbereich anschmelzen als die Partikel mit großem Partikeldurchmesser. Ein weiterer Parameter ist die elektrische Leistung, die ins Plasma eingekoppelt wird. Durch Erhöhung der elektrischen Leistung wird das Plasma heißer und die Pulverpartikel in der Oberfläche stärker angeschmolzen.

[0011] Bereits mit der Bildung einer Schicht aus Pulverpartikeln kann eine Porosität erreicht werden, die für bestimmte Anwendungsfälle für einen Stoff- und Wärmetransport dienlich ist. Eine solche Schicht hätte eine Dicke, die etwa dem Durchmesser der Pulverpartikel entspricht.

[0012] Vorzugsweise werden teilweise geschlossene Poren gebildet, die zum Basiskörper hin geschlossener sind.

[0013] Ein wichtiger Parameter, um den Anteil an offenen und/oder geschlossenen Poren, insbesondere an geschlossenen Poren, einzustellen und zu beeinflussen, ist der Druck. Grundsätzlich sollte daher im Vakuum gearbeitet werden, d.h. im Bereich von etwa 5×10^3 Pa bis 3×10^4 Pa.

[0014] Ein weiterer Parameter, der zu beachten ist, ist der geeignete Spritzabstand zwischen Flamme und Basiskörper. Je größer dieser Abstand gewählt wird, desto höher ist die resultierende Porosität. Der Abstand darf jedoch nicht so groß gewählt werden, daß die angeschmolzenen Partikel nicht bereits oberflächlich erstarren, bevor sie auf das Basiskörper auftreffen.

[0015] Sofern Abstände zwischen Flamme/Plasma und Basiskörper angegeben sind, beziehen sich diese auf das Ende des jeweiligen Brenners.

[0016] Im Hinblick auf einen Gradienten zwischen offenen Poren und geschlossenen Poren ist es zu bevorzugen, daß in Richtung der Dicke der aufzubringenden

Schicht gesehen die eine Hälfte geschlossenporiger ausgebildet sein soll als die andere Hälfte, wobei die geschlossenen Poren zum Basiskörper hin weisen, während die offenporige Seite die freie Oberfläche bildet.

[0017] Durch kontinuierliche Veränderung der Verfahrensparameter unmittelbar während des Plasmaspritzens, sowie einer Änderung der Pulverfraktion in Bezug auf den Anteil an feinkörnigerem Pulver gegenüber demjenigen Anteil an größeren Pulverpartikeln, kann ein kontinuierlicher Gradient der Porosität über die Schichtdicke erhalten werden. Vorzugsweise sollte die Porosität so eingestellt werden, daß sich das Verhältnis des gesamten Poren-Volumenanteils zum Gesamtvolumen der Schicht von 0 bis 80% ändert; der bevorzugte Bereich liegt hierbei zwischen 10 bis 50%.

[0018] Zusätzlich kann zu Beginn des Spritzens eine dichte Basisschicht aufgebracht werden, indem die Parameter so eingestellt werden, daß entweder die gesamten Pulverpartikel aufgeschmolzen werden, oder es wird ein entsprechend hoher Anteil an Feinpulver zuge-mischt, so daß sich dadurch die dichte Basisschicht ergibt.

[0019] Als Plasmaspritzverfahren wird bevorzugt ein Vakuum-Hochfrequenzplasmaspritzverfahren eingesetzt. Gerade hiermit ist es möglich, im Vergleich zu Flamm-spritzen oder Gleichstromplasmaspritzen, relativ grobkörnige Pulver (> 50 µm) anzuschmelzen; im Vakuum kann unter Einsatz des Hochfrequenzplasmaspritzverfahrens durch den Druck nicht nur die Länge der Plasmaflamme, sondern darüber hinaus auch der Wärmeübergang zwischen Plasma und Pulverpartikel kontrolliert werden.

[0020] Als Ausgangspulver sollte bevorzugt solches eingesetzt werden, dessen Partikelgröße im Bereich von 10 µm bis 800 µm liegt, wobei ein Bereich zwischen 100 µm und 250 µm als besonders bevorzugter Bereich herauszustellen ist. Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, daß eine Pulverfraktion eingesetzt werden sollte, die Partikel in einem Durchmesserbereich zwischen einem minimalen Partikeldurchmesser d_{\min} und einem maximalen Partikeldurchmesser d_{\max} umfaßt, die folgender Vorschrift genügt:

$$\frac{\Delta d}{d_a^{\max}} < 0,35$$

wobei d_a^{\max} den Pulverpartikeldurchmesser angibt, der in der gewählten Pulverfraktion den größten Anteil bildet, und wobei Δd die Schwankungsbreite der Partikeldurchmesser um den größten Partikeldurchmesser darstellt.

[0021] Für d_a^{\max} kann zur Vereinfachung auch der Vorschrift gefolgt werden:

$$d_a^{\max} = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2}$$

[0022] Um zu einer teilweisen offenen Porenstruktur zu gelangen, sollte der Grad des Anschmelzens m der Oberflächenschicht der Partikel der Vorschrift

$$m = \frac{d - d_s^*}{d}$$

folgen,

wobei d den Partikeldurchmesser bezeichnet und wobei d_s^* den Durchmesser des verbleibenden festen Kerns bezeichnet, wobei für m gilt

$$5\% < m \leq 60\%.$$

[0023] Zur Erzeugung der zumindest teilweise geschlossenen Porenstruktur wird die Oberflächenschicht der Partikel angeschmolzen, wobei der Grad des Anschmelzens m wiederum der Vorschrift

$$m = \frac{d - d_s^*}{d}$$

genügt, allerdings mit $10\% < m \leq 100\%$.

[0024] Geeignete Porenradii sollten in Bezug auf die jeweiligen aufgetragenen Schichten auf dem Basiskörper zwischen 25 µm bis 200 µm liegen. Die Dicke der Beschichtung kann, je nach Art des Basiskörpers und den gestellten Forderungen, im Bereich von 10 µm bis 2000 µm liegen. Vorzugsweise werden Pulver aus Metallen oder Metallegierungen eingesetzt; es ist aber auch möglich, Keramikmaterialien zu verwenden, da diese mittels des angegebenen Verfahrens auch aufgrund der erreichbaren, hohen Temperaturen, verarbeitbar sind.

[0025] Ein Keramiküberzug über metallisches Pulver kann von Vorteil sein, wenn der metallische Grundwerkstoff gegen Korrosion geschützt werden soll und der Grundwerkstoff dennoch die Wärme gut leiten soll.

[0026] Ein keramischer Überzug kann jedoch auch den Wärme- und Stoffübergang sehr positiv beeinflussen, insbesondere bei der Kondensation von Dämpfen. Durch schlechtere Benetzung der Keramik kann nämlich die besonders vorteilhafte Tropfenkondensation erreicht werden.

[0027] Um die Wärmetransportleistung zu erhöhen, kann in dem Basiskörper mindestens eine Nut in Stoff- und Wärmetransportrichtung verlaufend ausgebildet sein, die durch die Pulverpartikel unter Erhaltung der Querschnittsform der Nut abgedeckt werden.

[0028] Auf diese Art und Weise ist es möglich, spritztechnisch eine poröse Kapillarstruktur mit Kanälen bzw. Nuten, auch als Arterien bezeichnet, herzustellen. Diese Kombination ist besonders vorteilhaft, da Bereiche hoher Kapillarität mit solchen niedriger Druckverluste effizient verknüpfbar sind. Die Möglichkeit, poröse

Funktionsschichten herzustellen, in die unmittelbar Kanäle bzw. Nuten eingearbeitet sind, führt dazu, daß solche Anordnungen mit hoher Wärme- und Stofftransportleistung sehr kostengünstig hergestellt werden können.

[0029] Beim Aufbauen der porösen Schicht auf der Basisschicht, in die eine oder mehrere Nut(en) eingearbeitet sind, sollte darauf geachtet werden, daß die Pulverpartikel eine Größe aufweisen derart, daß die Querschnittsform der Nut nur abgedeckt wird, d.h. der freie Querschnitt der Nut soll nach Aufspritzen der Schicht erhalten werden. Bevorzugt wird eine V-förmige Nut eingesetzt.

[0030] Eine solche Nut sollte folglich eine Öffnungsweite aufweisen, die kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser des Pulvers der darauf aufgetragenen Schicht.

[0031] Die Nut kann in den Basiskörper eingefräst werden oder darin eingätzt werden.

[0032] Die vorstehend angegebenen Nuten können in einer gewünschten Anzahl in dem Basiskörper ausgebildet werden, auch in unterschiedlichen Richtungen verlaufen und mit Querverbindungen untereinander.

[0033] Um die angegebene Schicht mit Porenstruktur zu erzeugen, werden vorzugsweise Pulverpartikel eingesetzt, die während des Beschichtungsvorgangs oberflächlich angeschmolzen werden. Durch den Grad des Anschmelzens kann dann eine offene und/oder teilweise geschlossene Porenstruktur eingestellt werden. Weiterhin kann durch den Grad des Anschmelzens die Porenstruktur mit einem Gradienten versehen werden, in dem über die Dicke der Schicht gesehen eine offenere oder geschlossener Porenstruktur erzeugt wird. Dies kann dadurch erfolgen, daß der Grad des Anschmelzens der Oberfläche der Pulverpartikel, die schichtweise zur Erzeugung der Kapillarstrukturschicht aufgebracht werden, mit einem höheren oder geringeren Grad in der Oberfläche angeschmolzen werden. Bevorzugt wird hierbei eine Schicht erzeugt, deren Poren zur radial innenliegenden Seite hin geschlossener sind als zur radial außenliegenden Seite hin, d.h. zur freien Oberfläche hin.

[0034] Es hat sich gezeigt, daß poröse Schichten vorteilhaft mit einem Hochfrequenzplasmaspritzverfahren erzeugt werden können, wobei dies noch bevorzugter im Vakuum vorgenommen wird. Mit dem Hochfrequenzplasmaspritzverfahren kann ein definiertes Anschmelzen der Oberflächenschicht der einzelnen Pulverpartikel erfolgen. Die Verfahrensparameter können einfach im Hinblick auf Leistung, Druck in der Beschichtungskammer, Flammabstand zu der Schicht, geändert werden, um dadurch den Anschmelzgrad der Oberfläche und damit die hervorgerufene Porenstruktur zu ändern. Auch stellt die Wahl der Partikelgröße einen die Porenstruktur beeinflussenden Faktor dar. Die Partikelgrößen sollten im Bereich von 10 µm bis 800 µm liegen, wobei eine Partikelgröße zwischen 100 µm und 250 µm zu bevorzugen ist. Der Porenradius der einzelnen Poren, der zwischen den aneinandergeschmolzenen Pulverparti-

keln gebildet wird, sollte im Bereich von 20 µm bis 500 µm liegen.

[0035] Sofern Abstände zwischen Flamme/Plasma und Basiskörper angegeben sind, beziehen sich diese auf das Ende des jeweiligen Brenners.

[0036] Um die Bildung einer offenen Porenstruktur zu fördern, sollten Partikel in dem Fraktionsbereich

$$0,7 \leq \frac{d_{\min}}{d_{\max}} < 1$$

eingesetzt werden.

[0037] Um die Bildung einer geschlossenen Porenstruktur zu fördern, sollten dagegen Partikel im Fraktionsbereich von

$$\frac{d_{\min}}{d_{\max}} < 0,7$$

eingesetzt werden.

[0038] Bevorzugte Druckbereiche, die beim Vakuum-Plasmaspritzen in der Beschichtungskammer eingestellt werden, liegen bei $8 \cdot 10^3$ Pa bis $2 \cdot 10^4$ Pa, vorzugsweise bei $1 \cdot 10^4$ Pa bis $1,7 \cdot 10^4$ Pa. Gerade in diesem Druckbereich wird sichergestellt, daß der negative Einfluß oxidativer Reaktionen weitgehend verhindert wird; in diesem Druckbereich läßt sich ein überwiegend laminarer Plasmastrahl einstellen, wodurch sich eine einheitliche Aufschmelzung ergibt. Außerdem ist der Wärmeübergang groß genug, um die kontrollierte Aufschmelzung der Partikeloberfläche zu kontrollieren. Um Restsauerstoff und die Oxidhautbildung auf den einzelnen Pulverpartikeln, die die Festigkeit der Schicht herabsetzt, zu vermindern und um dadurch die Porenstrukturbildung noch besser kontrollieren zu können, sollte das Plasmaspritzen in Schutzgasatmosphäre, insbesondere mit dem entsprechenden Reduktionsmittel, wie zum Beispiel Wasserstoff, erfolgen.

[0039] Bevorzugte Verfahrensparameter beim Vakuum-Plasmaspritzen sind ein Druck von $5 \cdot 10^3$ Pa bis $3 \cdot 10^4$ Pa und eine Leistung von 5 bis 50 kW, um eine offene Porenstruktur zu erzeugen, während ein Druckbereich von $1 \cdot 10^4$ Pa bis $5 \cdot 10^4$ Pa und eine Leistung von 7 bis 50 kW eingestellt werden, um eine geschlossene Porenstruktur zu erzeugen.

[0040] Es hat sich weiterhin als vorteilhaft erwiesen, den Basiskörper vor der Beschichtung aufzuwärmen, insbesondere auf Temperaturen im Bereich von einigen 100°C; hierdurch wird die Abscheidung der Pulverpartikel günstig beeinflusst, d.h. es werden beispielsweise Risse zwischen Basiskörper und Schicht vermieden.

[0041] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sowohl des Bauteils als auch der Verfahren sind in den jeweiligen Unteransprüchen 2 bis 29 und 31 bis 34 angegeben.

[0042] Nachfolgend werden verschiedene Ausführ-

rungsbeispiele anhand der Zeichnung erläutert. In den beigefügten Zeichnungen zeigen im einzelnen

- Figur 1 eine schematische Darstellung im Schnitt eines Teils eines Basiskörpers mit einer darauf aufgetragenen, einlagigen, porösen Schicht,
- Figur 2 eine Schnittdarstellung entsprechend der Figur 1 mit einer dreilagigen Schicht,
- Figur 3 eine der Figur 2 entsprechenden Darstellung mit einer zusätzlichen Nut im Basiskörper,
- Figur 4 ein rohrförmiges Bauteil mit einer Außenbeschichtung, wobei für einen größenmäßigen Vergleich eine 1-Pfennig-Münze zu sehen ist,
- Figur 5 eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme einer Oberflächenschicht, wie sie auf einem Bauteil entsprechend Figur 4 aufgebracht ist, und
- Figur 6 eine graphische Darstellung der Partikeldurchmesserverteilung der zum Plasmaspritzen eingesetzten Pulverfraktionen.

[0043] Figur 1 zeigt schematisch einen Basiskörper 1, auf dem eine einlagige Schicht aus Pulverpartikeln 2 aufgespritzt ist. Da die einzelnen Pulverpartikel 2 kontrolliert nur in einem Oberflächenbereich eingeschmolzen werden, wird die Form der einzelnen Pulverpartikel 2 im wesentlichen beibehalten. Die Pulverpartikel können unter Beachtung einer geeigneten Durchsatzmenge so auf den Basiskörper 1 aufgebracht werden, daß sie aneinander anschmelzen, so daß zwischen Basiskörper 1 und den Pulverpartikeln 2 Poren entstehen. Diese Poren ergeben sich insbesondere dann, wenn Pulverfraktionen mit Partikeln mit relativ großem Partikeldurchmesser verwendet werden.

[0044] Figur 2 zeigt eine Schnittdarstellung entsprechend der Figur 1 mit einer dreilagigen Schicht, d.h. die Pulverpartikel sind übereinandergeschichtet. Da die einzelnen Pulverpartikel nur oberflächlich vor dem Auftreffen auf den Basiskörper 1 bzw. die jeweils darunter liegenden Pulverpartikel 2 angeschmolzen werden, behalten sie im wesentlichen ihre Form, so daß sich zwischen den einzelnen Pulverpartikeln 2 definierte Poren 3 bilden. Diese Porenstruktur kann durch den jeweiligen Grad des Anschmelzens einerseits, die Pulverpartikelgrößenverteilung andererseits, die unmittelbar insbesondere während eines Vakuum-Hochfrequenzplasmaspritzverfahrens geändert werden können, darüber hinaus über den in der Plasmaspritzanlage eingestellten Druck und die Leistung, mit der die Anlage betrieben wird, eingestellt bzw. beeinflußt werden. So ist es möglich, während des Plasmaspritzens den Anteil an feinem

Pulver, mit geringem Durchmesser, zu erhöhen, so daß sich die Poren schließen, während für eine stärkere Porosität die Pulver mit größeren Radius hin geändert werden. Weiterhin kann der Grad des Anschmelzens der Oberfläche heraufgesetzt werden, so daß die einzelnen Pulverpartikel stärker miteinander verschmelzen, so daß im Gegensatz zu einer offenen Porosität die einzelnen Poren geschlossen werden. Bevorzugt wird die Porosität graduell von der Basisschicht 1 ausgehend zu der Außenseite hin erhöht, so daß zum einen im Bereich des Basiskörpers eine hohe Festigkeit erreicht werden kann.

[0045] Wie eingangs erläutert ist, sollte ein besonders geeignetes Ausgangspulver der Vorschrift

$$\frac{\Delta d}{d_a^{\max}} < 0,35$$

genügen; die Zusammenhänge zwischen d_a^{\max} , Δd , d_{\min} (minimaler Partikeldurchmesser d) und d_{\max} (maximaler Partikeldurchmesser d) sind in Figur 6 dargestellt, und zwar in Abhängigkeit des prozentualen Anteils der jeweiligen Pulverpartikeldurchmesser, die in einem Ausgangspulver vorhanden sind.

[0046] Figur 3 zeigt einen Strukturaufbau entsprechend Figur 2, allerdings mit zwei zusätzlichen, V-förmigen Nuten 4, die in der Oberfläche des Basiskörpers 1 ausgebildet sind. Diese Nuten 4 bilden Kapillare unterhalb der porösen Schicht; sie sind vollständig durch die Pulverpartikel 2 abgedeckt. Da die Öffnungsweite der Nuten 4 geringer ist als die Partikeldurchmesser der unteren Schicht, werden die Nuten nicht verschlossen, d.h. deren freier Querschnitt wird vollständig erhalten.

[0047] Figur 4 zeigt ein 8 mm Edelstahlblech, das mittels des Hochfrequenzplasmaspritzens hergestellt wurde. Aufgespritzt wurde ein Pulver aus einer Nickel-Basis-Legierung in einer Korngröße von $-160 + 125 \mu\text{m}$. Die Schichtdicke beträgt ca. $500 \mu\text{m}$. Die Beschichtung wurde bei einem Druck zwischen 100 und 200 mbar (bei einem Abstand von 320 mm) durchgeführt. Die elektrische Leistung beträgt zwischen 15 - 20 kW. Als Plasmagase wurden Argon und Wasserstoff in einer Gesamtmenge von 140 SLPM eingesetzt.

[0048] Figur 5 zeigt eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme der Oberflächenschicht des in Figur 4 gezeigten Bauteils in einer 30-fachen Vergrößerung. Anhand dieser Aufnahme ist deutlich zu erkennen, daß die Strukturierung der Schicht, insbesondere der Oberfläche, dadurch geschieht, daß die Partikel oberflächlich angeschmolzen werden und durch den Grad des Anschmelzens die Gestalt des ursprünglichen, kugelförmigen Partikels weitgehend beibehalten wurde. Der Anteil an schmelzflüssigem Material verbindet die Partikel miteinander und stärkt den Schichtzusammenhalt. Eine solche strukturierte Schicht, insbesondere Oberfläche, begünstigt den Wärme- und Stofftransport.

Patentansprüche

1. Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport mit einem Basiskörper und mit einer einen Stoff- und Wärmetransport unterstützenden Schicht auf mindestens einer Bauteilfläche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Beschichtung durch ein Vakuumplasmaspritzverfahren erzeugt ist, wobei Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlossenen Poren eingestellt ist.
2. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Basiskörper auf seiner Beschichtungsfläche mit Vertiefungen strukturiert ist, wobei die Vertiefungen gegenüberliegende Flächen umfassen, die so zueinander geneigt sind, daß sich deren Flächennormalen schneiden.
3. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vertiefungen im Querschnitt V-förmig sind.
4. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vertiefungen einen konkaven Querschnitt aufweisen.
5. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Basiskörper als Halbschale ausgebildet ist, wobei die konkave Fläche eine Beschichtungs Oberfläche bildet.
6. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** teilweise geschlossene Poren gebildet sind, die zum Basiskörper hin geschlossen sind.
7. Bauteil nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** in Richtung der Dicke der Schicht gesehen die eine Hälfte der Schicht geschlossenporig ist und die andere Hälfte der Schicht offenporig ist.
8. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Porosität über die Dicke der Schicht gesehen einen Gradienten aufweist.
9. Bauteil nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** sich die Porosität derart ändert, daß das Verhältnis des gesamten Hohlvolumenanteils zum Gesamtvolumen der Schicht 0 bis 80% beträgt.
10. Bauteil nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verhältnis des gesamten Hohlvolumenanteils zum Gesamtvolumen der Schicht 10 bis 50% beträgt.
11. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** auf dem Basiskörper eine im wesentlichen dichte Grundschicht aufgebracht ist, die keine Porosität besitzt.
12. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Beschichtung durch ein Hochfrequenzvakuumplasmaspritzverfahren, erzeugt ist.
13. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Dicke der Beschichtung 10 µm bis 2000 µm beträgt.
14. Bauteil nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Vertiefungen mindestens eine Nut in Stoff- und Wärmetransportrichtung verlaufend umfassen, die durch die Pulverpartikel unter Erhaltung der Querschnittsform der Nut abgedeckt ist.
15. Bauteil nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Nut V-förmig ist.
16. Bauteil nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Nut eine Öffnungsbreite aufweist, die kleiner ist als der mittlere Partikeldurchmesser des Pulvers der darauf aufgetragenen Schicht.
17. Bauteil nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Nut in dem Basiskörper eingefräst ist.
18. Bauteil nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Nut in dem Basiskörper geätzt ist.
19. Bauteil nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Pulverdurchsatzmenge im Bereich von 4 bis 100 g/min, vorzugsweise von 10 bis 50 g/min, liegt.
20. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Beschichtung durch mindestens eine Schicht aus Pulverpartikeln gebildet ist, derart, daß die Schicht eine Dicke aufweist, die etwa dem Durchmesser der Pulverpartikel entspricht.
21. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Partikelgröße des Ausgangspulvers im Bereich von 10 µm bis 800 µm, vorzugsweise zwischen 100 µm und 250 µm, liegt.
22. Bauteil nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine Pulverfraktion eingesetzt ist, die Partikel in einem Durchmesserbereich zwischen einem minimalen Partikeldurchmesser d_{\min} und einem maximalen Partikeldurchmesser d_{\max} umfaßt, die folgender Vorschrift genügt:
$$\frac{\Delta d}{d_a} < 0,35$$

wobei d_a^{\max} den Pulverpartikeldurchmesser angibt, der in der genannten Pulverfraktion den größten Anteil bildet, und wobei Δd die Schwankungsbreite der Partikeldurchmesser um diesen Partikeldurchmesser darstellt.

23. Bauteil nach Anspruch 22, **dadurch gekennzeichnet, daß** näherungsweise

$$d_a^{\max} = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2}$$

gilt.

24. Bauteil nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Erzeugung der zumindest teilweise offenen Porenstruktur die Oberflächenschicht der Partikel angeschmolzen ist, wobei der Grad des Anschmelzens m folgender Vorschrift genügt:

$$m = \frac{d - d_s^*}{d}$$

wobei

d : Partikeldurchmesser

d_s^* : verbleibender fester Kern

mit $5\% < m \leq 60\%$.

25. Bauteil nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Erzeugung der zumindest teilweise geschlossenen Porenstruktur die Oberflächenschicht der Partikel angeschmolzen ist, wobei der Grad des Anschmelzens m folgender Vorschrift genügt:

$$m = \frac{d - d_s^*}{d}$$

wobei

d : Partikeldurchmesser

d_s^* : verbleibender fester Kern

mit $10\% < m \leq 100\%$.

26. Bauteil nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Pulver aus Metallen und/oder Metalllegierungen gebildet ist.

27. Bauteil nach Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, daß** auf die aus dem Metallpulver und/oder die Metallpulverlegierung aufgebaute Schicht eine aus Keramikpulver gebildete Überzugsschicht aufgebracht ist.

28. Bauteil nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Erzeugung der zumindest teilweise offenen Porenstruktur Partikel in den Fraktionsbereich

$$0,7 \leq \frac{d_{\min}}{d_{\max}} < 1$$

eingesetzt sind.

29. Bauteil nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** zur Erzeugung der geschlossenen Porenstruktur Partikel in den Fraktionsbereich

$$\frac{d_{\min}}{d_{\max}} < 0,7$$

30. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport unter Bereitstellung eines Basiskörpers, wobei auf den Basiskörper eine einen Stoff- und Wärmetransport unterstützende Schicht aufgebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Beschichtung durch ein Vakuumplasmaspritzverfahren erzeugt wird, wobei die Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur oberflächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlossenen Poren eingestellt ist.

31. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Vakuumhochfrequenzplasmaspritzverfahren eingesetzt wird.

32. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Spritzen unter einer Schutzgasatmosphäre, insbesondere einer Argonatmosphäre, erfolgt.

33. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** ein Reduktionsmittel, insbesondere Wasserstoff, der Schutzgasatmosphäre zugegeben wird.

34. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** während des Plasmaspritzens ein Druck von $5 \cdot 10^3$ bis $3 \cdot 10^4$ Pa und eine Leistung von 5 bis 50 kW eingestellt werden, um eine offene Porenstruktur zu erzeugen.

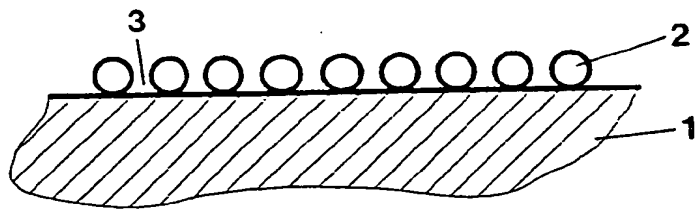


FIG. 1

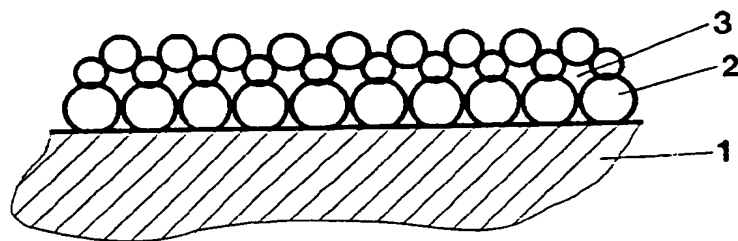


FIG. 2

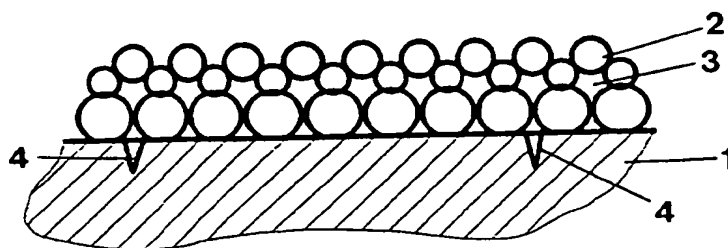


FIG. 3

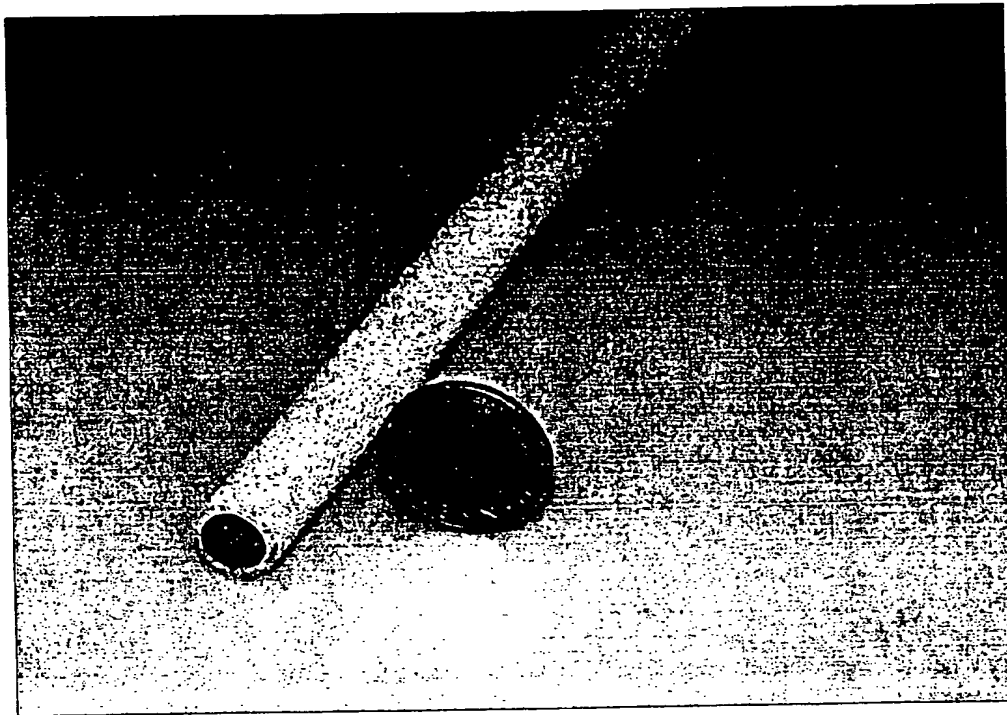


FIG. 4

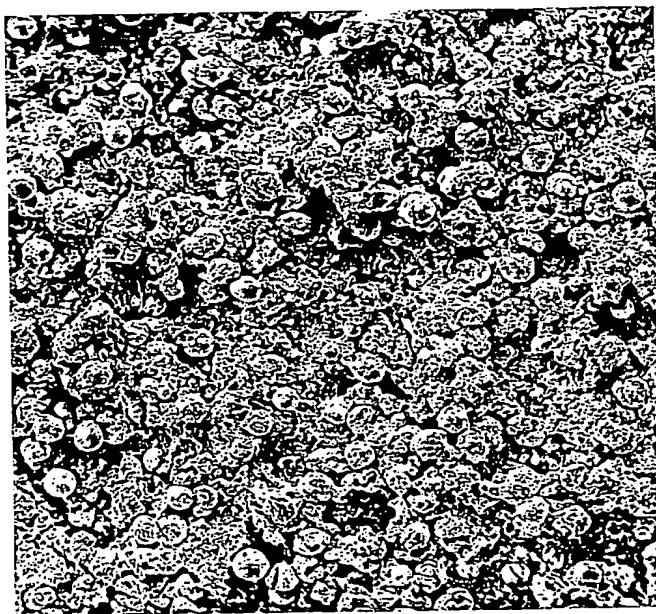


FIG. 5

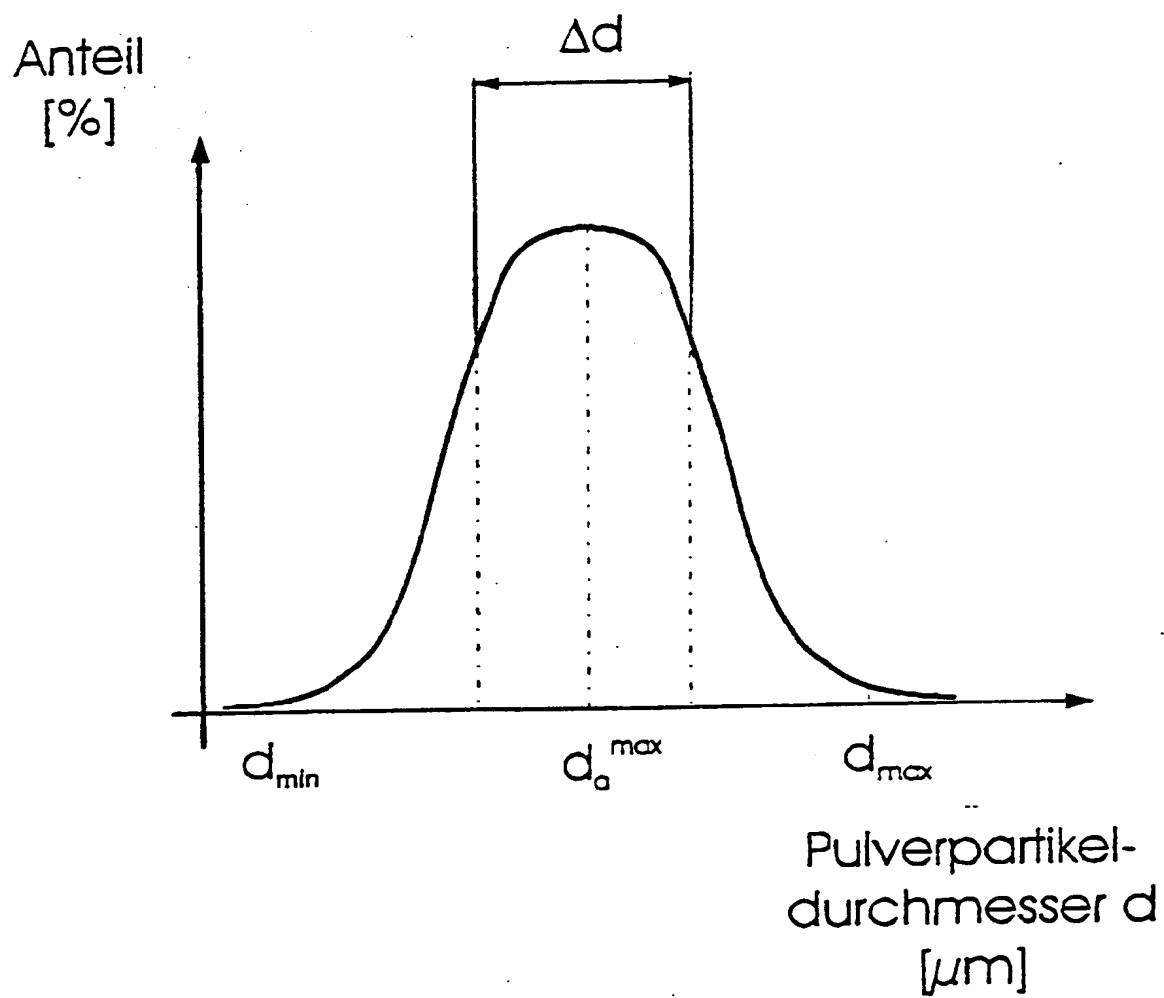
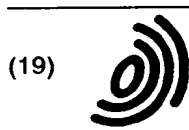


FIG. 6



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 154 033 A3**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(88) Veröffentlichungstag A3:
23.04.2003 Patentblatt 2003/17

(51) Int Cl.7: **C23C 4/12**

(43) Veröffentlichungstag A2:
14.11.2001 Patentblatt 2001/46

(21) Anmeldenummer: **01111327.1**

(22) Anmeldetag: **09.05.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- **Fischer, Manfred**
71263 Weil der Stadt (DE)
- **Henne, Rudolf**
71034 Böblingen (DE)
- **Stephan, Karl**
70619 Stuttgart (DE)

(30) Priorität: **09.05.2000 DE 10022326**

(71) Anmelder: **Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V.**
53175 Bonn (DE)

(74) Vertreter: **Grimm, Ekkehard, Dipl.-Phys.**
Patentanwälte
Grimm & Staudt
Edith-Stein-Strasse 22
63075 Offenbach (DE)

(72) Erfinder:
• **Thaler, Heiko**
71067 Sindelfingen (DE)

(54) **Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport sowie Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Bauteil zum Stoff- und Wärmetransport mit einem Basiskörper und mit einer einen Stoff- und Wärmetransport unterstützenden Schicht auf mindestens einer Bauteilfläche, das dadurch gekennzeichnet ist, daß die Beschichtung durch ein Vakuumplasmastritzverfahren erzeugt ist, wobei Pulverpartikel zur Erzeugung einer Porenstruktur ober-

flächlich angeschmolzen sind und durch den Grad des Anschmelzens der Anteil an offenen und geschlossenen Poren eingestellt ist. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils zum Stoff- und Wärmetransport.

EP 1 154 033 A3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 01 11 1327

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
D,X	DE 197 17 235 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 30. Juli 1998 (1998-07-30)	1,4-8, 11-14, 20-26, 28-31 2,3,15	C23C4/12
A	* Zusammenfassung * * Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 11 * * Spalte 1, Zeile 35 - Spalte 3, Zeile 49 * * Spalte 4, Zeile 35 - Zeile 64 * * Spalte 5, Zeile 7 - Zeile 46 * * Spalte 9, Zeile 14 - Zeile 37 * * Spalte 10, Zeile 10 - Zeile 31 * * Spalte 11, Zeile 2 - Zeile 14 * * Ansprüche 1-4,7-12,14,16,21-23,26-31; Abbildungen *		
E	EP 1 154 217 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 14. November 2001 (2001-11-14)	1-5, 12-14, 21,26, 27,30-33	
A	* Zusammenfassung * * Absatz '0001! * * Absatz '0007! - Absatz '0008! * * Ansprüche 1-4,6,11,13-20,26,33-35 *	15-18	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	DE 19 50 439 A (BBC BROWN BOVERI & CIE) 15. April 1971 (1971-04-15) * Ansprüche *	1,30	C23C
E	DE 100 22 161 C (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 3. Januar 2002 (2002-01-03) * Ansprüche 1,4-22 *	1,9-13, 19,21-34	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 3. März 2003	Prüfer Ceulemans, J
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03 B2 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 11 1327

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

03-03-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19717235	A	30-07-1998	DE	19717235 A1	30-07-1998
			CA	2250415 A1	30-07-1998
			WO	9833031 A1	30-07-1998
			US	6303191 B1	16-10-2001
EP 1154217	A	14-11-2001	DE	10022325 A1	22-11-2001
			EP	1154217 A2	14-11-2001
DE 1950439	A	15-04-1971	DE	1950439 A1	15-04-1971
			CH	555897 A	15-11-1974
			FR	2064177 A7	16-07-1971
			GB	1313525 A	11-04-1973
			NL	7014563 A	13-04-1971
DE 10022161	C	03-01-2002	DE	10022161 C1	03-01-2002

EPO FORM P0481

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82